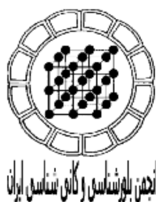
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و چهارم، شمارهٔ سوم، پاییز ۹۵، از صفحهٔ ۴۱۹ تا ۴۳۴



کانسار مس چشمه گز (نسیم)، شمال غرب بردسکن: کانی‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی و تعیین مدل

مهوش مهوشی، آزاده ملک‌زاده شفارودی*

گروه پژوهشی اکتشافات ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۹۴/۸/۵، نسخه نهایی: ۹۴/۹/۲۵)

چکیده: کانسار مس چشمه گز (نسیم) در شمال غرب بردسکن در استان خراسان رضوی قرار دارد. زمین‌شناسی منطقه شامل آندزیت، بازالت، سنگ آهک نومولیت‌دار و مارن با میان لایه‌هایی از ژیپس با سن ائوسن، کنگلومرای پلیوسن و رسوب‌های کواترنری است. کانی‌سازی به‌صورت چینه‌کران در داخل آندزیت‌ها و مرز واحدهای آندزیتی با سنگ آهک به شکل‌های پراکنده، رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی تشکیل شده است. ماده‌ی معدنی شامل کانی‌های اولیه کالکوزیت، مس طبیعی و پیریت و کانی‌های ثانویه مالاکیت، کوولیت، آزوریت و گوتیت است. براساس بررسی‌های میکروسکوپی و آنالیز XRD، کانی‌شناسی منطقه‌های دگرسانی شامل کلریت، کلسیت، زئولیت (ناترولیت، تامسونیت و آنالسیم)، کوارتز و کمی اپیدوت است. بیهنجاری قابل توجهی از مس (تا ۳٫۳۶ درصد) نیز در منطقه وجود دارد. سنگ‌های آتشفشانی میزبان از نوع آهکی- قلیایی بوده و در کمان آتشفشانی منطقه‌ی فرورانشی تشکیل شده‌اند. جنس سنگ میزبان و ژئوشیمی آن، دگرسان است و بافت و ساخت کانی‌سازی و نوع کانه‌ها در کانسار چشمه گز شبیه ذخایر مانتو است و نوع آن روزادی – میان زادی است.

واژه‌های کلیدی: *کانی‌شناسی؛ سنگ‌شناسی؛ ژئوشیمی؛ مس چینه‌کران؛ چشمه گز؛ منطقه‌ی سبزوار.*

مقدمه

منطقه‌ی سبزوار بخشی از زیرمنطقه‌های ایران مرکزی محسوب می‌شود که بین گسل‌های شاهرود از شمال و گسل‌های ریوش و درونه از جنوب محصور شده است (شکل ۱ الف). زمین‌شناسی این منطقه از لکانوپلاژیک و مجموعه‌ی افیولیتی کرتاسه فوقانی و سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی ترشیاری تشکیل شده است [۱]. در جنوب منطقه‌ی سبزوار یک دنباله‌ی آتشفشانی- رسوبی به سن ائوسن با روند شمال شرقی- جنوب غربی قرار دارد که میزبان تعداد زیادی معدن متروکه و آثار کانی‌سازی مس با ویژگی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی-شناسی مشابه است. از این میان می‌توان به مناطق زنگالو، چشمه گز، دهنه سیاه، چشمه زلزله و غیره اشاره کرد. آثار کار شدادی، کوره‌های ذوب و سرباره فراوان همراه با کانی‌سازی مس متعدد در حاشیه‌ی واحدهای آندزیتی و مرز سنگ‌های آتشفشانی با رسوبی، نشان‌دهنده‌ی اهمیت کانه‌زایی مس و پتانسیل بالای اکتشافی این مجموعه در شمال شرقی ایران است (شکل ۱ ب) [۳،۲].

کانسار مس چشمه گز در ۴۶ کیلومتری شمال غربی شهرستان بردسکن و در استان خراسان رضوی قرار دارد. این کانسار بین طول‌های جغرافیایی ″۰۰ ′۳۰ °۵۷ تا ″۱۵ ′۳۳ °۵۷ و عرض‌های جغرافیایی ″۴۰ ′۲۰ °۳۵ تا ″۴۵ ′۲۱ °۳۵ قرار گرفته است. آثار کنده‌کاری قدیمی و وجود سرباره در منطقه، نشان دهنده‌ی قدمت فعالیت‌های معدنی آن است. این منطقه هم اکنون به اسم نسیم تغییر نام داده و به شرکت کومه معدن پارس تعلق دارد که تاکنون ۷۴ گمانه جمعاً به متراژ ۴۲۹۲ متر

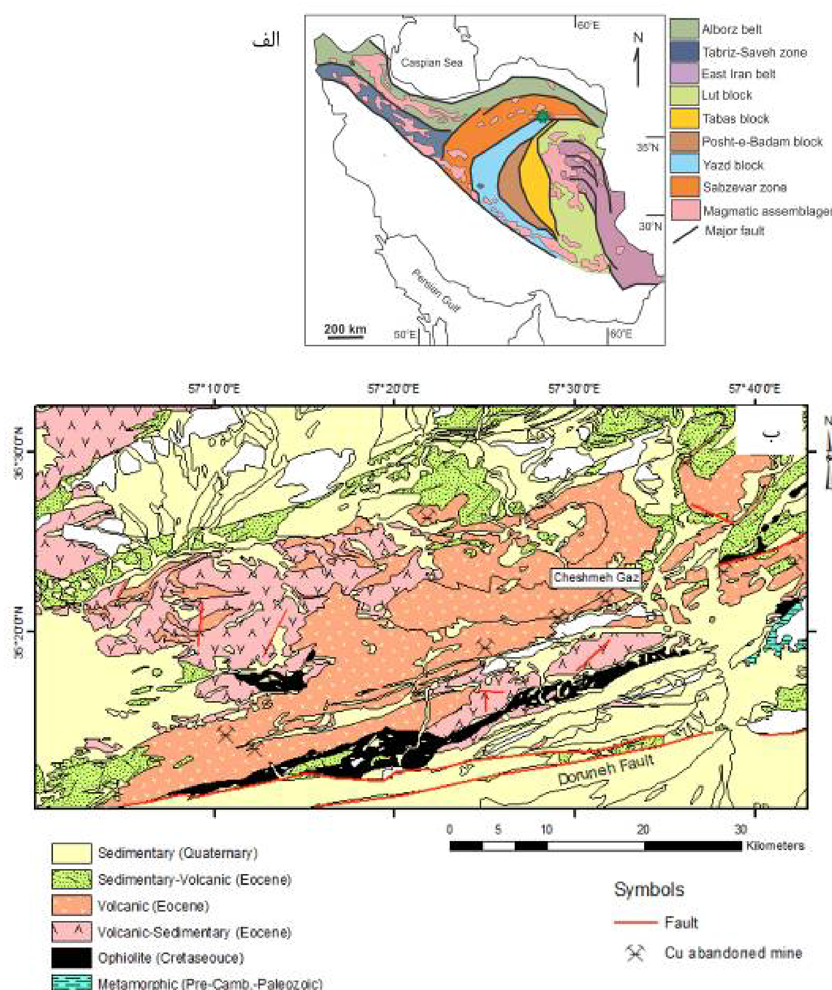
* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۱۳۸۸۰۵۴۸۸، پست الکترونیکی: shafaroudi@um.ac.ir

در کل گستره حفر و بیش از ۲۶۰۰ نمونه از مغزه‌ها و سطح برای عنصر مس با دستگاه جذب اتمی آزمایشگاه شرکت آنالیز شده است. همچنین نقشه‌ی زمین‌شناسی از کل گستره به‌وسیله‌ی این شرکت تهیه شده است.

در این پژوهش بخش شرقی کانسار چشمه گز (نسیم) که از نظر کانی‌سازی از اهمیت بیشتری برخوردار است، بررسی شده است. هدف از این پژوهش تصحیح نقشه‌ی زمین‌شناسی- کانی‌سازی و تهیه‌ی نقشه دگرسانی- کانی‌سازی با تاکید بر ارتباط واحدهای سنگی و دگرسانی با کانی‌سازی، کانی‌شناسی منطقه‌های دگرسانی و ماده معدنی، بررسی‌های تکمیلی ژئوشیمی پی‌جویی سطحی و زیرسطحی، رسم نیمرخ سنگ‌شناسی- دگرسانی- کانی‌سازی زیرسطحی و نیز ژئوشیمیایی سنگ آتشفشانی میزبان و تعیین جایگاه زمین ساختی آن‌ها بوده است. در نهایت براساس داده‌های به‌دست آمده، چگونگی تشکیل کانسار، تفسیر و مدل کانی‌سازی مشخص می‌شود.

زمین‌شناسی

کانسار چشمه گز (نسیم) در جنوب منطقه‌ی سبزوار و در غرب نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن [۴] و شرق نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ درونه [۵] قرار گرفته است. بخش شرقی این کانسار که مورد بررسی این پژوهش است، در نقشه‌ی بردسکن قرار دارد. از ویژگی‌های آشکار زمین‌شناسی ناحیه‌ای این منطقه، فعالیت شدید ماگماتیکی سنوزوئیک و قرارگیری گسل درونه در جنوب آن است (شکل ۱). دنباله‌ی آتشفشانی- رسوبی ائوسن در جنوب منطقه‌ی سبزوار به فعالیت‌های آتشفشانی زیردریایی در یک حوضه‌ی کم عمق نسبت داده شده است [۱]. سنگ‌های آتشفشانی بیشتر ترکیب آندزیت و بازالت و کمتر داسیتی دارند و با سنگ‌های رسوبی همچون سنگ آهک نومولیت‌دار که از شاخصه‌های محیط‌های زیردریایی است، همراهی می‌شوند.



شکل ۱ الف) موقعیت کانسار چشمه گز (نسیم) در منطقه‌ی سبزوار در نقشه زیر منطقه‌های ایران مرکزی از دیدگاه [۲] و ب) مجموعه آتشفشانی- رسوبی ائوسن جنوب زون سبزوار همراه با موقعیت دیگر کانسارهای مس منطقه برگرفته از نقشه ساده شده ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر [۳].

ساختارهای زمین‌شناسی منطقه‌ی سبزوار از گسل‌های اطراف آن، به‌ویژه گسل درونه در جنوب، تاثیر پذیرفته است. به‌طوری که روند بسیاری از گسل‌ها و ساختارهای چین خورده نیز درون منطقه و در دنباله‌ی آتشفشانی- رسوبی ائوسن از روند گسل درونه پیروی می‌کند. چین خوردگی‌های متعددی به شکل تاقدیس و ناودیس در این مجموعه شد که راستای گسل‌ها بیشتر شرقی- غربی تا شمال شرقی- جنوب غربی است.

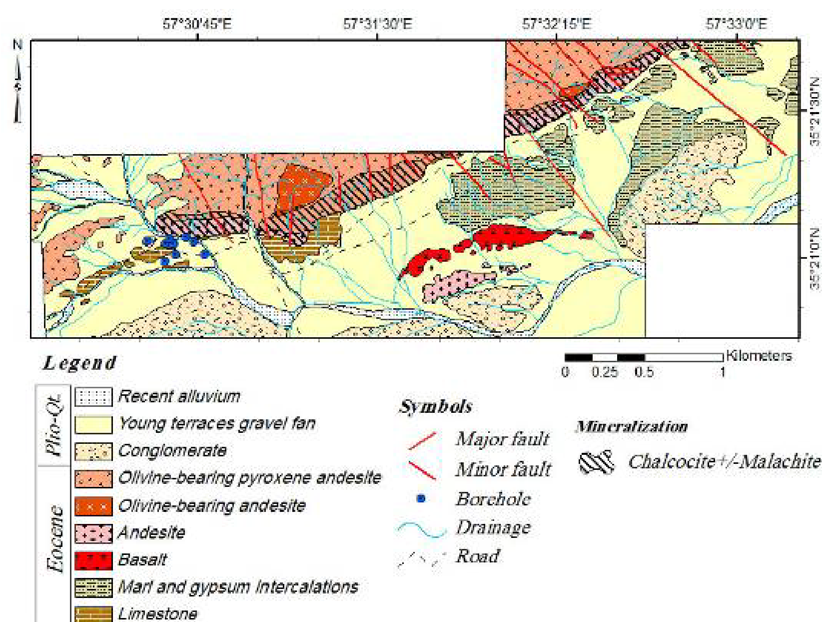
زمین‌شناسی بخش شرقی کانسار چشمه گز (نسیم) ساده بوده و از واحدهای ترشیاری- کواترنری پوشیده شده است. مجموعه آتشفشانی- رسوبی ائوسن از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت و بازالت و سنگ‌های رسوبی آهکی و مارن با میان لایه‌هایی از ژیپس تشکیل شده است (شکل ۲). سنگ-های آتشفشانی آندزیتی که گسترده‌ترین واحدهای آتشفشانی منطقه را تشکیل می‌دهند، با یک روند شمال شرقی- جنوب غربی در نیمه‌ی شمالی گستره‌ی مورد بررسی دیده می‌شوند و به دلیل فرسایش، ریخت‌شناسی پست و تپه ماهوری دارند. بافت پورفیری با درشت بلورهای پلاژیوکلاز و رنگ سبز- خاکستری به دلیل دگرسانی پروپلیتیک، از ویژگی‌های شاخص آن‌هاست. براساس فراوانی و نوع کانی مافیک، آندزیت‌ها به سه نوع آندزیت، آندزیت الیوین‌دار و پیروکسن آندزیت الیوین‌دار تقسیم می‌شوند که واحد پیروکسن آندزیت الیوین‌دار از گسترش بیشتری برخوردار است. واحدهای آندزیتی، سنگ میزبان اصلی کانی‌سازی منطقه هستند، به طوری که کانی-سازی مس بیشتر در حاشیه و یا در مرز آن‌ها و سنگ آهک، رخ داده است (شکل ۲). این ویژگی‌ها در بررسی‌های زیرسطحی گمانه‌های مهم منطقه در غرب ناحیه مورد بررسی نیز تایید می‌شود (شکل ۳). بازالت گسترش کمی در مرکز گستره دارد و در بررسی‌های عمیق نیز دیده نشده است. سنگ آهک در بخش غربی منطقه‌ی مورد بررسی و اعماق سطحی گمانه‌ها با رنگ کرم تا خاکستری روشن مشاهده می‌شود و در مرز با واحدهای آندزیتی، میزبان بخشی از کانی‌سازی است (شکل‌های ۲ و ۳). این واحد براساس رده‌بندی دانهام [۶] یک بایوکلاستیک پکستون بوده و دارای فسیل‌های میلیولید، کرینوئید، نومولیت و دیسکوسیکلینا است که نشاندهنده ائوسن است. واحد مارن ژیپس‌دار نیز با تنوع رنگی کرم، سبز و سرخ و ریخت شناسی پست و تپه ماهوری در نیمه‌ی شرقی گستره رخنمون دارد و دارای هیچگونه کانی‌سازی است. واحد کنگلومرای پلیوسن در بخش جنوبی گستره به‌صورت دگرشیب روی مارن‌های ژیپس‌دار قرارگرفته‌اند (شکل ۲). قطعات ریز و درشت با اندازه‌ی یک تا چند ده سانتیمتر از واحدهای آتشفشانی و رسوبی همراه با کانی‌سازی از ویژگی‌های این کنگلومراست که نشان دهنده‌ی جوان‌تر بودن آن است.

روش بررسی

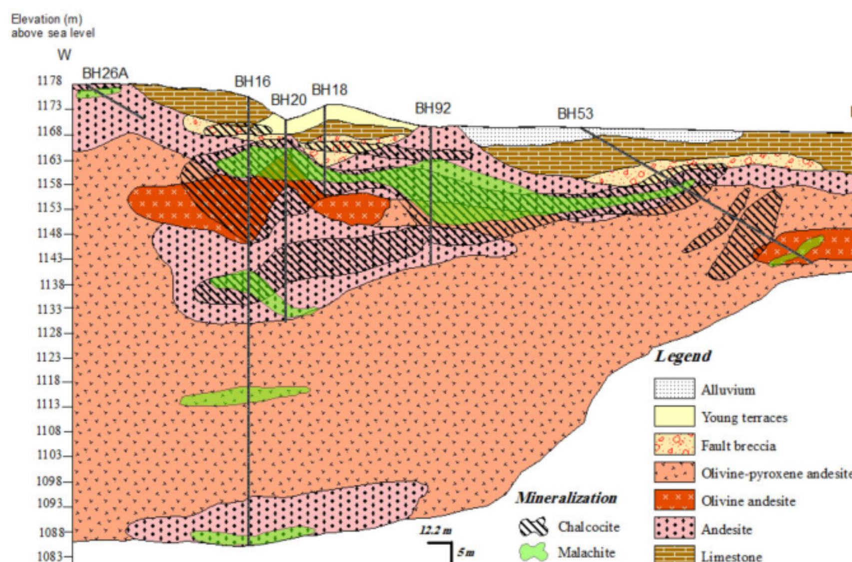
بررسی‌های انجام شده شامل بررسی‌های صحرایی- آزمایشگاهی به منظور تصحیح نقشه‌ی زمین‌شناسی-کانی‌سازی و تهیه‌ی نقشه‌ی دگرسانی- کانی‌سازی با مقیاس ۱:۵۰۰۰، با استفاده از ۴۷۵ متر مغزه در قالب ۹ گمانه با مقیاس ۱:۱۰۰، تهیه‌ی نیمرخ‌های زیرسطحی زمین‌شناسی- کانی‌سازی و دگرسانی-کانی‌سازی، با استفاده از ۱۲۲ مقطع نازک در جهت بررسی سنگ نگاری و دگرسانی و ۳۱ مقطع نازک صیقلی و بلوک صیقلی برای بررسی‌های کانه‌نگاری و تعیین چگونگی تشکیل دوگانه سنگ‌ها، آنالیز دستگاهی به روش XRD برای شناسایی کانی‌های منطقه‌های دگرسان (۴ نمونه)، استفاده از نتایج آنالیز عنصر مس بیش از ۳۰۰ نمونه که توسط شرکت کومه معدن پارس به روش جذب اتمی انجام شد و آنالیز ژئوشیمیایی تکمیلی برخی نمونه‌های سطحی و زیرسطحی (۳۰ نمونه) برای عناصر سرب، روی، نقره به غیره به روش ICP-OES، انتخاب ۸ نمونه از سنگ‌های آتشفشانی میزبان کانی‌سازی کمتر آلتره و تجزیه برای اکسیدهای اصلی به روش XRF و عناصر فرعی و خاکی کمیاب به روش ICP-MS بوده است. آنالیز XRD در شرکت زرآزما و مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران، XRF در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران، ICP-OES در شرکت زرآزما و ICP-MS در آزمایشگاه ACME کانادا به روش ذوب قلیایی انجام شده‌اند.

سنگ‌شناسی واحدهای آتشفشانی

واحدهای آندزیتی: واحدهای آندزیتی دارای بافت پورفیری-گلومروپورفیری و آمیگدالوئیدال با زمینه ریز دانه‌ی کهنسنگی هستند. درصد درشت بلورها بین ۲۵ تا گاهی ۴۰ درصد حجم سنگ تغییر می‌کند و بیشتر از پلاژیوکلازهایی (آندزین) که اندازه آنها تا ۲ سانتیمتر می‌رسد تشکیل شده‌اند. در واحدهای آندزیت الیوین‌دار و پیروکسن آندزیت الیوین‌دار، علاوه بر پلاژیوکلاز، حدود ۳ تا ۵ درصد الیوین و ۸ تا ۱۰ درصد پیروکسن (اوژیت دیوپسید) به عنوان درشت بلور دیده می-شوند. زمینه‌ی سنگ از ریزبلورهای پلاژیوکلاز تشکیل شده است.



شکل۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی- کانی‌سازی بخش شرقی کانسار چشمه گز (نسیم).

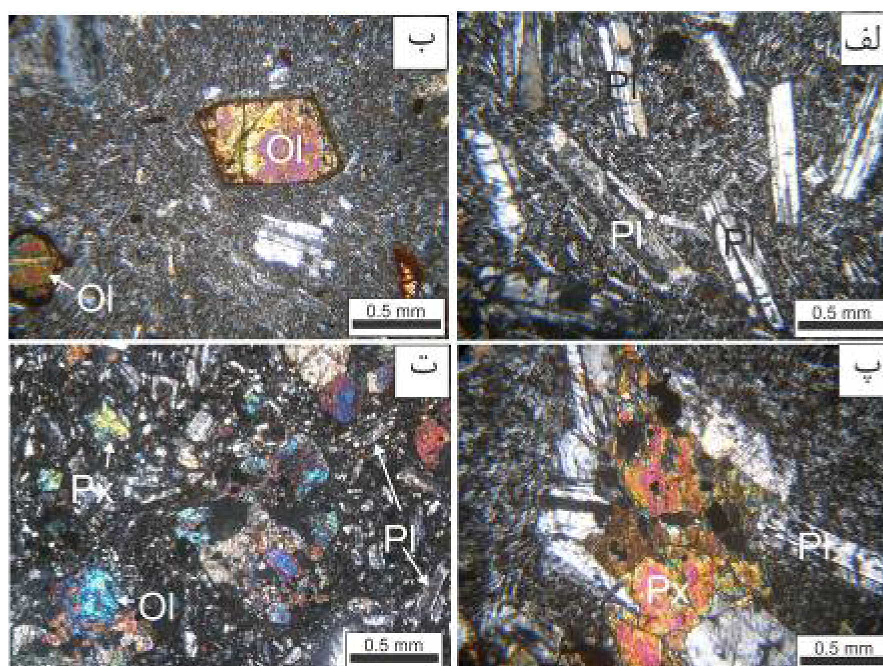


شکل۳ مقطع زمین‌شناسی- کانی‌سازی زیرسطحی غرب کانسار چشمه گز (نسیم).

مگنتیت مهمترین کانی فرعی و کدر سنگ است که به شکل ریزبلور و پراکنده گاهی تا ۴ درصد حجم سنگ را تشکیل می‌دهد (شکل‌های ۴ الف تا پ). پلاژیوکلازها گاهی تا ۱۰ درصد به کلسیت و کلریت تجزیه شده‌اند. علاوه بر آن کلسیت و کلریت به شکل رگچه‌ای و پرکننده‌ی حفره‌ها گاهی تا ۴۰ درصد نیز دیده می‌شوند. الیوین‌ها و گاهی پیروکسن‌ها از حاشیه و شکستگی‌ها بین ۱۰ تا گاهی ۷۰ درصد به ادینگزیت، کلسیت و کلریت تبدیل شده‌اند. زئولیت به شکل پرکننده‌ی حفره‌های سنگ تا ۵ درصد در برخی نمونه‌ها دیده می‌شود.

کانی‌های اولیه و ثانویه مس به شکل رگچه، پراکنده و پرکننده‌ی حفره‌ها و گاهی پیریت ریزدانه و پراکنده بین ۱ تا ۱۰ درصد از دیگر کانی‌های این واحدها هستند.

بازالت: بازالت دارای بافت پورفیری با زمینه‌ی ریزدانه تا شیشه‌ای است. ۴۵ تا ۵۰ درصد کانی درشت بلور شامل ۲۰ تا ۲۵ درصد پلاژیوکلاز (لابرادوریت)، ۲۰ تا ۲۵ درصد پیروکسن (اوژیت دیوپسید) و ۳ تا ۵ درصد الیوین از مشخصات این واحد است (شکل ۴ ت). مگنتیت مهمترین کانی فرعی و کدر سنگ است که تا ۲ درصد می‌رسد.



شکل۴ الف) بافت پورفیری با زمینه‌ی ریزبلوری در آندزیت، ب) مقطع میکروسکوپی آندزیت الیوین‌دار، پ) بافت گلومروپورفیری در واحد پیروکسن آندزیت الیوین‌دار، ت) مقطع میکروسکوپی واحد بازالت (Pl = پلاژیوکلاز، Ol = اولیوین، Px = پیروکسن [۷]، نور عبوری).

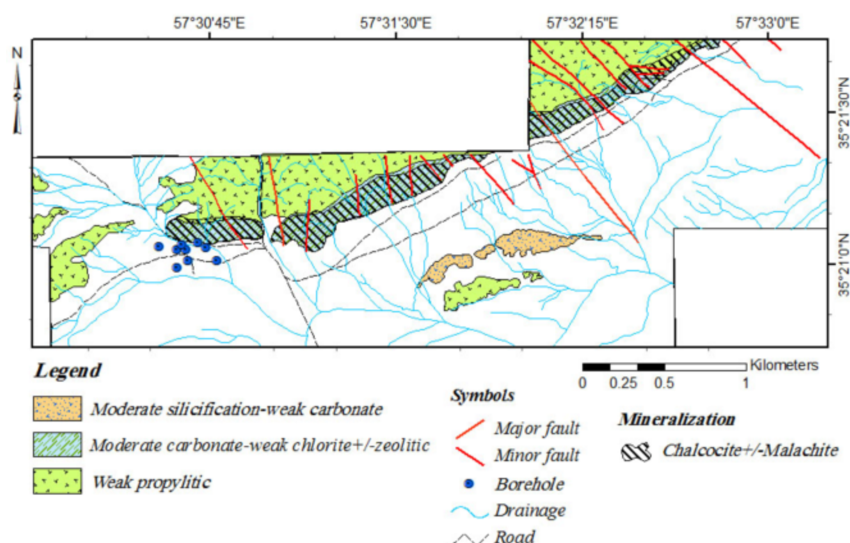
کانی‌های ثانویه شامل ۱۵ تا ۲۰ درصد کوارتز نهان بلور به شکل رگچه و ۲ تا ۵ درصد کلسیت به شکل پراکنده در متن سنگ دیده می‌شوند. از ویژگی‌های این واحد حضور زیاد اکسیدآهن در متن سنگ است که باعث رنگ سرخ آن در نمونه‌ی دستی شده است

کانی‌شناسی منطقه‌های دگرسان

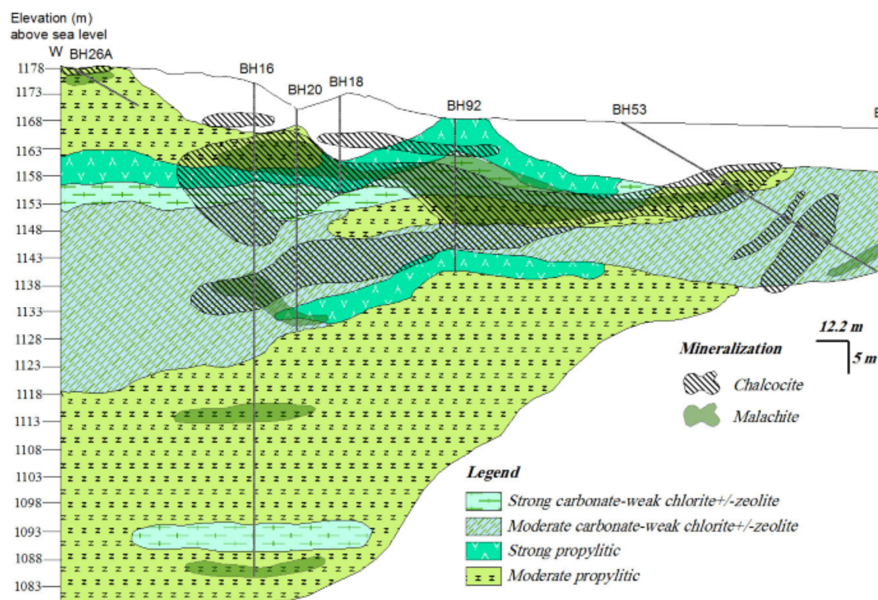
برپایه بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، دگرسانی گسترده‌ای سنگ‌های آتشفشانی منطقه را دربرگرفته است که می‌توان آن را به دو بخش دگرسانی ناحیه‌ای پروپلیتیک و دگرسانی محلی کربناتی-کلریتی ± زئولیتی و یا سیلیسی- کربناتی تقسیم کرد.

دگرسانی پروپلیتیک با شدت‌های مختلف به شکل فراگیر در کل سنگ‌های آتشفشانی مجموعه‌ی آتشفشانی - رسوبی ائوسن جنوب منطقه‌ی سبزوار دیده می‌شود. این دگرسانی در سطح و در گمانه‌های منطقه‌ی مورد بررسی، واحدهای آندزیتی را تحت تاثیر قرار داده است. این منطقه در سطح با شدتی ضعیف و در گمانه‌ها در حد شدید تا متوسط است (شکل‌های ۵ و ۶). کانی اصلی این منطقه کلریت است که به شکل رگچه‌ای، پرکننده‌ی حفره‌های، جانشینی و پراکنده در سنگ میزبان دیده می‌شوند (شکل‌های ۷ الف و ب). شدیدترین مقدار این کانی بیش از ۳۵ درصد و در حد متوسط بین ۲۰ تا ۲۵ درصد است. در پروپلیتیک ضعیف کمتر از ۱۰ درصد کلریت مشاهده می‌شود. پلاژیوکلازها، الیوین و پیروکسن گاهی تا ۱۰ درصد به کلریت تبدیل شده‌اند. اپیدوت و کلسیت در حد ۱ تا ۲ درصد در این منطقه وجود دارد.

دگرسانی کربناتی متوسط تا قوی- کلریتی ضعیف ± زئولیت همراه با منطقه‌های کانی‌سازی در حاشیه‌ی واحدهای آندزیتی و یا مرز آندزیت‌ها با سنگ آهک دیده می‌شوند (شکل‌های ۵ و ۶). کانی‌شناسی این منطقه شامل کلسیت، کلریت و زئولیت است که به شکل‌های رگچه، پرکننده‌ی حفره-ها و جانشینی در پلاژیوکلازها و کانی‌های مافیک مشاهده می-شوند (شکل‌های ۷ پ تا ث). مقدار کلسیت در شدت‌های بالا بیش از ۳۵ درصد و در شدت متوسط بین ۱۵ تا ۳۰ درصد است. پلاژیوکلازها بین ۴ تا ۷ درصد و کانی‌های مافیک بیش از ۳۰ درصد به کلسیت تبدیل شده‌اند. مقدار کلریت اغلب کمتر از ۱۰ درصد است. حدود ۵ درصد پلاژیوکلازها و ۱۰ درصد کانی‌های مافیک به کلریت تبدیل شده‌اند. زئولیت بیشتر به شکل پرکننده‌ی حاشیه‌ی حفره‌ها دیده می‌شود. براساس نتایج آنالیز XRD زئولیت‌ها از نوع ناترولیت ($Na_2Al_2Si_3O_{10},2H_2O$)، آنالسیم ($Na(Si_2Al)O_6,H_2O$) و تامسونیت ($NaCa_2Al_5Si_5O_{20},6H_2O$) هستند. دگرسانی سیلیسی متوسط- کربناتی ضعیف به طور محلی واحد بازالت در جنوب منطقه را تحت تاثیر قرار داده است و کانی‌سازی همراه آن دیده نمی‌شود.



شکل ۵ نقشه‌ی دگرسانی- کانی‌سازی کانسار چشمه گز (نسیم).



شکل۶ مقطع دگرسانی- کانی‌سازی زیرسطحی غرب کانسار چشمه گز (نسیم).

در این منطقه ۱۵ تا ۲۰ درصد کوارتز کریپتوکریستالین به شکل رگچه‌هایی با ضخامت حداکثر ۴ میلیمتر همراه با ۲ تا ۵ درصد کلسیت به شکل پراکنده وجود دارند (شکل ۷ ج).

کانی‌سازی و کانی‌شناسی ماده‌ی معدنی

کانی‌سازی مس با روند تقریبی شمال شرقی- جنوب غربی در درون سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی و نیز مرز واحد پیروکسن آندزیت الیوین‌دار، آندزیت الیوین‌دار و آندزیت با سنگ آهک تشکیل شده است (شکل‌های ۲ و ۳). در همین راستا کنده-کاریهای قدیمی متعددی به چشم می‌خورد. منطقه‌ی کانی-سازی بیشتر روی دگرسانی کربناتی متوسط تا قوی- کلریتی ضعیف ± زئولیت قرار دارد (شکل‌های ۵ و ۶). بافت‌های رگچه-ای، پرکننده و کمتر پرکننده‌ی حفره‌ها، و اسکلتی، مهم‌ترین شکل‌های کانی‌سازی در منطقه چشمه گز به شمار می‌روند. رگچه‌ها بین چند میلیمتر تا حداکثر ۷ سانتیمتر ضخامت دارند و تراکم آن‌ها تا ۱۵ رگچه در مترمربع می‌رسد. کانی‌سازی پراکنده نیز بین ۲ تا ۶ درصد حجم سنگ میزبان را تشکیل می‌دهد. کانی‌شناسی کانسار بسیار ساده بوده و تنها مقدار آن‌ها در بخش‌های مختلف، متغیر است. کانی‌های اولیه شامل کالکوزیت، مس طبیعی و پیریت و کانی‌های ثانویه شامل مالاکیت، کوولیت، آزوریت و گوتیت است که با کانی‌های

باطله‌ی کلریت، کلسیت و زئولیت همراهی می‌شود. کالکوزیت و مالاکیت از مهمترین و فراوانترین کانی‌های منطقه‌ی کانی-سازی هستند.

پیریت: پیریت به‌صورت پراکنده تا کمی توده‌ای (شکل ۸ الف) و گاهی پرکننده‌ی حفره‌ها در آندزیت و نیز متن سنگ آهک در نزدیکی مرز با آندزیت دیده می‌شود. پیریت‌ها بیشتر بی-شکل بوده و اندازه‌ی آن‌ها از چند میکرون تا یک سانتیمتر متغیر است. مقدار پیریت ۳ تا ۴ درصد حجم سنگ است. در برخی نمونه‌ها بافت اسکلتی در پیریت دیده می‌شود (شکل ۸ ب). وجود باقی‌مانده‌هایی از پیریت در کالکوزیت در برخی نمونه‌ها، نشان دهنده‌ی تبدیل پیریت به کالکوزیت است که با آزادشدن آهن و تشکیل کانی‌هایی مثل گوتیت همراه بوده است (شکل ۸ پ).

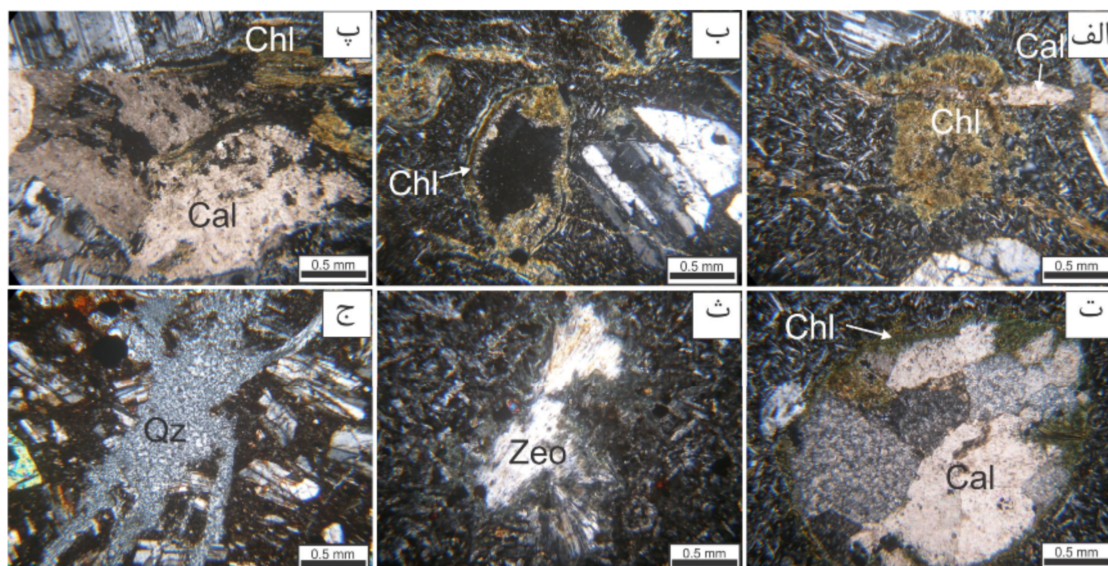
کالکوزیت: کالکوزیت مهم‌ترین و فراوانترین کانی اولیه‌ی مس در کانسار چشمه گز (نسیم) به شمار می‌رود که بیشتر به شکل رگچه‌ای و پراکنده و کمتر پرکننده‌ی حفره‌ها دیده می‌شود (شکل ۸ ت و ث). در بررسی‌های زیرسطحی، این کانی بیشتر در اعماق کمتر از ۵۰ متر و در مرز سنگ‌های آتشفشانی با واحد آهک دیده می‌شوند (شکل ۳). رگچه‌های کالکوزیت از ۲ میلیمتر تا ۷ سانتیمتر ضخامت دارند. کالکوزیت‌های پراکنده بی‌شکل بوده و تا اندازه یک سانتیمتر می‌رسند. این کانی در اغلب موارد (بیش از ۵۰ درصد تا کامل) از حاشیه و محل شکستگی‌ها در حال تبدیل به مالاکیت و کمتر کوولیت، گوتیت و آزوریت است.

مس طبیعی: مس طبیعی به شکل پراکنده و با ابعاد چند میکرون تا حداکثر ۵ میلیمتر در سنگ میزبان آندزیتی در گمانه‌های BH-20 و BH-92 دیده شده است. مقدار این کانی به یک درصد می‌رسد (شکل ۸ ج).

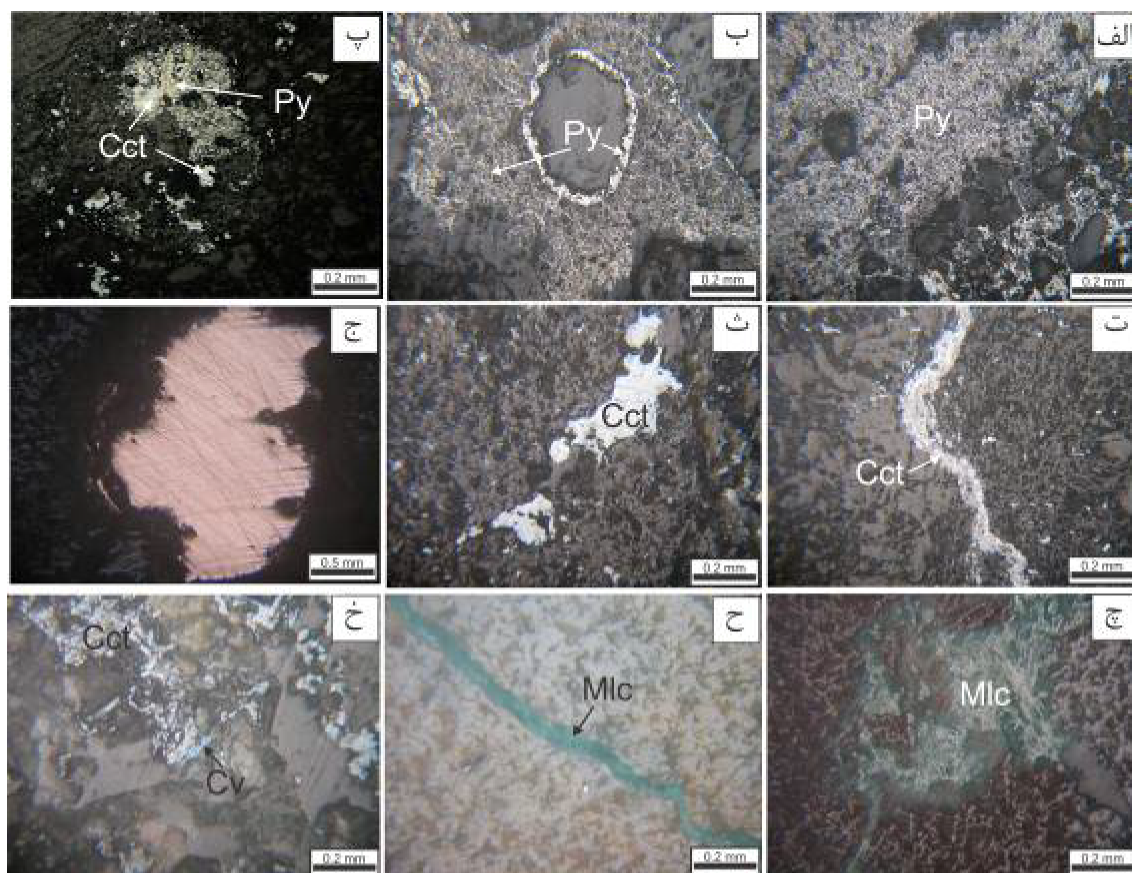
مالاکیت: مالاکیت فراوانترین کانی مس ثانویه است که جانشین کالکوزیت در منطقه شده است. مقدار این کانی تا ۲۵ درصد حجم سنگ در مرز واحدهای آندزیتی با سنگ آهک می‌رسد که با دور شدن از این مرز مقدار آن رفته رفته کاهش می‌یابد. حتی داخل واحد بازالتی تا ۲ درصد مالاکیت دیده می‌شود. به سبب جانشینی مالاکیت به جای کالکوزیت، این کانی به شکلهای رگچه‌ای، پراکنده و پرکننده‌ی حفره‌ها دیده می‌شود (شکل ۸ چ و ح).

آزوریت و کوولیت: آزوریت بیشتر در واحد آهکی تا ۳ درصد دیده شده است. کوولیت نیز تا یک درصد به شکل جانشینی در حاشیه کالکوزیت مشاهده می‌شود (شکل ۸ خ).

گوتیت: این کانی تنها کانی اکسید آهن منطقه است که به سبب کم بودن مقدار کانی‌های سولفیدی آهن‌دار اولیه‌ی منطقه به مقدار حداکثر ۲ درصد در برخی نمونه‌ها دیده شده است.



شکل۷ الف) کلریت و کلسیت به شکل پرکننده‌ی حفره و رگچه در منطقه‌ی پروپلیتیک، ب) کلریت در حاشیه‌ی حفره‌ها آندزیت‌ها در منطقه‌ی پروپلیتیک، پ) کلسیت و کلریت رگچه‌ای در دگرسانی کربناتی- کلریتی- زئولیتی، ت) کلریت در حاشیه و کلسیت در مرکز حفره در دگرسانی کربناتی- کلریتی- زئولیتی، ث) تصویر میکروسکوپی زئولیت، ج) رگچه‌های کوارتز کریپتوکریستالین در بازالت (Cal= کلسیت، Chl= کلریت، Zeo= زئولیت، Qz= کوارتز [۷]، نور عبوری).



شکل۸ الف) پیریت توده‌ای، ب) پیریت پرکننده‌ی حاشیه حفره‌ها و بافت اسکلتی، پ) جانشینی کالکوزیت به جای پیریت، ت) کالکوزیت با بافت رگچه‌ای، ث) کالکوزیت پراکنده در سنگ میزبان، ج) تصویر میکروسکوپی مس طبیعی، چ) مالاکیت به شکل پرکننده، ح) رگچه مالاکیت، خ) تبدیل کالکوزیت به کوولیت (Py = پیریت، Cct = کالکوزیت، Mlc = مالاکیت، Cv = کوولیت [۷]، نور انعکاسی).

شاره کانه‌دار غنی از مس با واکنش دادن با پیریت موجب تشکیل سولفید مس در قالب کانی کالکوزیت و آزاد شدن آهن و ته نشست آن در قالب کانی گوتیت شده است. مس طبیعی نیز در برخی نقاط به سبب بالابودن مقدار مس محلول در شرایط احیایی تشکیل شده است. تمرکز کلسیم، سدیم، منیزیم و آهن موجب تشکیل کلریت، کلسیت و زئولیت نیز شده است. مقدار کمی سیلیس به شکل نهان بلور در فازهای نهایی ته نشست کرده است. بر اثر هوازدگی و اکسایش سطحی کالکوزیت به مالاکیت و کمتر آزوریت و کوولیت تبدیل شده است (شکل ۹).

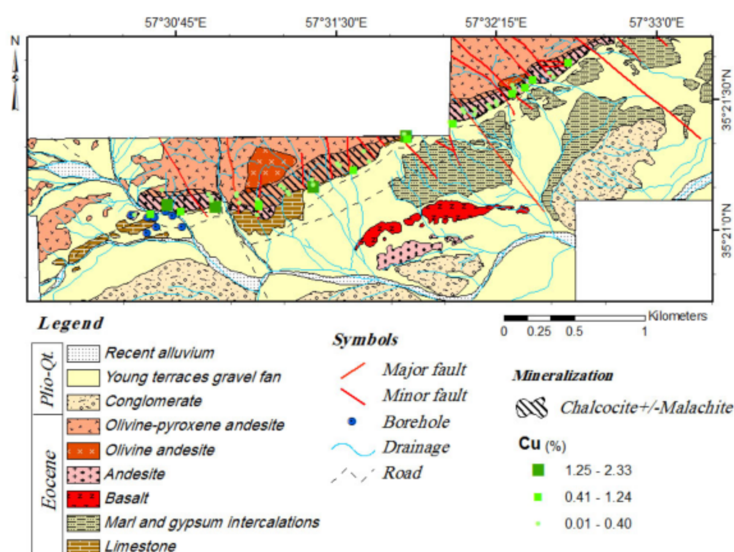
ژئوشیمی اکتشافی

مقدار مس در نمونه‌های سطحی برداشت شده از ترانشه‌ها، کنده‌کاری‌های قدیمی و منطقه‌های کانی‌سازی بین ۰٫۰۱ تا ۲٫۳۳ درصد متغیر است (شکل ۱۰). مقدار مس رابطه‌ی مستقیم با حضور کانی‌های کالکوزیت و مالاکیت دارد. نتایج آنالیز دیگر عناصر نشان می‌دهد که مقدار سرب و روی، پایین بوده و به ترتیب بین ۱۷ تا ۲۸ گرم در تن و ۵۹ تا ۱۵۳ گرم در تن متغیر است. نبود کانی‌های سرب و روی این مسئله را تایید می‌کند. میزان نقره (کمتر از یک گرم در تن)، آرسنیک، بیسموت و آنتیموان (کمتر از ۱۰ گرم در تن) در همه نمونه‌ها کمتر از حد تشخیص دستگاه شناسایی شد.

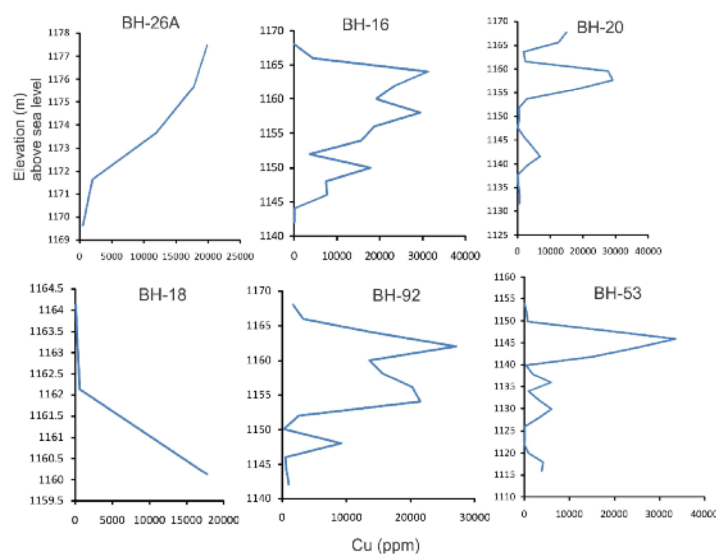
در نمونه‌های زیرسطحی مقدار مس بین ۲۶ گرم در تن تا ۳٫۳۶ درصد متغیر است که بیشترین مقدار در عمق ۲۳ تا ۲۵ متری گمانه BH-53 در واحد پیروکسن آندزیت الیوین‌دار همراه با دگرسانی کربناتی متوسط- کلریتی ضعیف ± زئولیت دیده می‌شود (شکل ۱۱). مقدار سرب حداکثر به ۵۲ و روی به ۷۲ گرم در تن می‌رسد. مقادیر Ag، As، Sb و Bi کمتر از حد تشخیص دستگاه بوده‌اند.

Minerals	Hypogene (Early → Late)	Oxidized zone
Pyrite	——— (early)	
Chalcocite	——— (middle–late)	
Copper	- - - (late)	
Calcite	———	
Chlorite	——— (early–middle)	
Zeolite	——— (late)	
Quartz	- - - (late)	
Malachite		———
Azurite		- - -
Covellite		- - -
Goethite		- - -

شکل۹ دنباله‌ی پاراژنز کانی‌های فلزی و غیرفلزی کانسار چشمه گز (نسیم).



شکل ۱۰ نقشه زمین‌شناسی- کانی‌سازی همراه با ژئوشیمی عنصر مس در کانسار چشمه گز (نسیم).

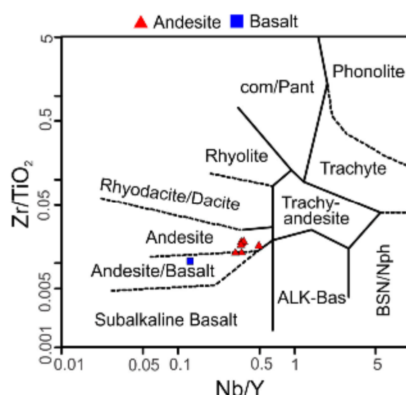


شکل۱۱ تغییرات ژئوشیمیایی مس در گمانه‌های بررسی شده کانسار چشمه گز (نسیم).

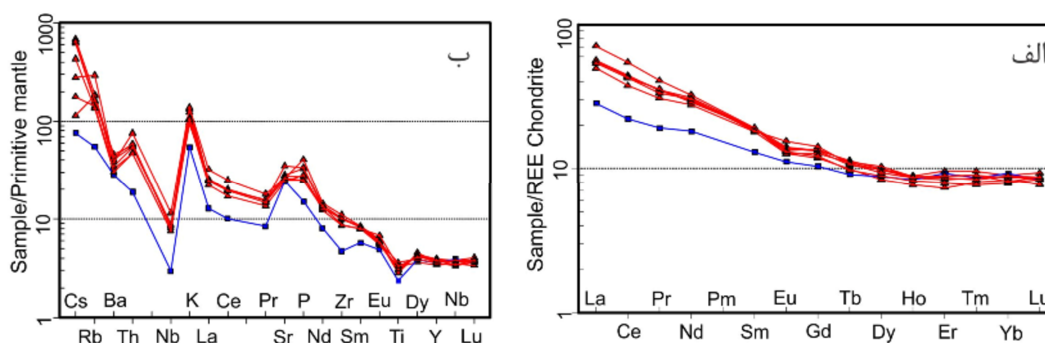
ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی

به‌منظور بررسی ژئوشیمی و تعیین جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی میزبان کانی‌سازی مس در منطقه چشمه گز (نسیم)، تعداد ۸ نمونه با حداقل دگرسانی از واحدهای آندزیتی و بازالتی انتخاب شد. با توجه به گستردگی دگرسانی گستره به‌ویژه حضور کلسیت در سنگ‌ها، انتخاب نمونه‌هایی با حداقل دگرسانی در گستره بسیار مشکل بود که در نهایت پس از بررسی‌های فراوان سنگ‌نگاری، ۷ نمونه از واحدهای آندزیتی که گسترش بیشتری دارند و یک نمونه از واحد بازالت که رخنمون کمی دارد، برگزیده شدند. با عنایت به انتخاب دقیق نمونه‌ها، سعی شد تا برای جلوگیری از هرگونه خطا و احتیاط بیشتر در تفسیرها، از نمودارهایی که برپایه‌ی عناصر فرعی یا خاکی نادر است، استفاده شود. جدول (۱) نتایج بررسی سنگ‌های آتشفشانی منطقه را نشان می‌دهد. در نمودار Zr/TiO_2 در مقابل Nb/Y [۸]، نمونه‌ها در محیط آندزیت و بازالت واقع شده‌اند (شکل ۱۲).

عناصر REE جزء عناصر با کمترین قابلیت انحلال بوده و در طول فرایندهایی مثل هوازدگی، دگرگونی با درجه‌ی پایین و دگرسانی گرمابی، نسبتاً نامتحرک هستند [۹]. بنابراین الگوی فراوانی آن‌ها می‌تواند نشانه‌هایی از خاستگاه آذرین سنگ‌ها را ثابت کند. نمودار عناصر خاکی نادر آندزیت‌ها که نسبت به کندریت بهنجار شد [۱۰]، یک غنی شدگی متوسط در عناصر خاکی نادر سبک (LREE) نسبت به عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) که روند نسبتاً مسطح را نشان می‌دهند، دارد. نسبت $(La/Yb)_N$ بین ۶ تا ۹، این مسئله را تایید می‌کند. نمونه‌ی بازالت نسبت به آندزیت‌ها، غنی شدگی ضعیفتری در عناصر LREE نشان می‌دهد و نسبت $(La/Yb)_N$ برابر است با ۳/۱ (شکل ۱۳ الف و جدول ۱). این روند غنی‌شدگی در LREE نسبت به HREE شاخص ماگمای تشکیل شده در زون فرورانش است [۱۱-۱۳]. نسبت Sr/Y بیشتر در اثر فراوانی نسبی گارنت، آمفیبول و پلاژیوکلاز در باقیمانده، کنترل می‌شود؛ به‌طوری که میزان بالای گارنت و مقادیر پایین آمفیبول و پلاژیوکلاز در باقیمانده سبب ایجاد نسبت Sr/Y بالا در گدازه می‌شود [۱۴]. سنگ‌های آتشفشانی چشمه گز دارای نسبت Sr/Y بالا (بین ۳۱ تا ۴۳) بوده که بیانگر حضور گارنت در باقیمانده است. این امر، تهی‌شدگی ضعیف Eu و بی‌هنجاری مثبت Sr گدازه‌های منطقه را توجیه می‌کند (جدول ۱).



شکل۱۲ موقعیت نمونه‌های سنگ آتشفشانی کانسار چشمه گز در نمودار نامگذاری [۸].



شکل۱۳ نمودار عناصر خاکی نادر بهنجار شده به کندریت (الف) و عناصر فرعی و برخی خاکی نادر بهنجار شده به گوشته اولیه (ب) برای نمونه‌های سنگ آتشفشانی کانسار چشمه گز. مقادیر اولیه کندریت از [۱۰] و گوشته اولیه از [۱۵].

جدول ۱ نتایج بررسی سنگ‌های آتشفشانی گستره‌ی کانسار چشمه گز (نسیم) (اکسیدهای اصلی برحسب (درصد) و عناصر فرعی و خاکی نادر برحسب ppm)

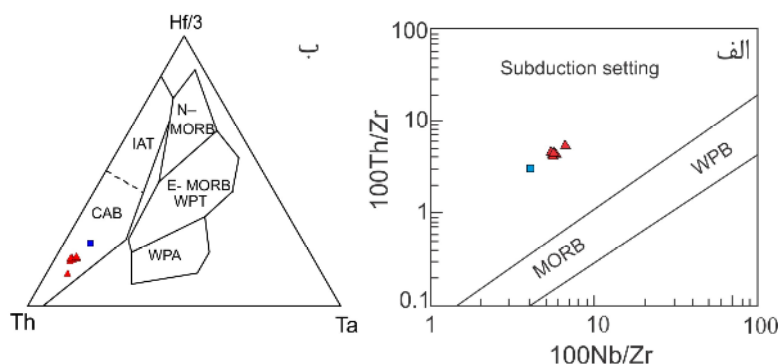
شماره نمونه	CH69	CH83	CH72	CH62	BH16-62	CH75	CH79	CH64
طول	۳۱´ ۰۸°57	۳۱´ ۲۲°57	۳۱´ ۰۴°57	۳۱´ ۵۸°57	۳۰´ ۳۷°57	۳۱´ ۰۱°57	۳۱´ ۱۵°57	۳۱´ ۵۴°57
عرض	۲۱´ ۱۹°35	۲۱´ ۱۹°35	۲۱´ ۱۴°35	۲۱´ ۰۵°35	۲۱´ ۰۴°35	۲۱´ ۰۶°35	۲۱´ ۰۸°35	۲۰´ ۵۷°35
SiO_2	۵۳٫۲۹	۵۳٫۵۱	۵۳٫۵۵	۵۶٫۳۴	۵۶٫۲۸	۵۲٫۶۷	۵۴٫۱۹	۵۳٫۸۷
TiO_2	۰٫۶۱	۰٫۶۵	۰٫۷۱	۰٫۵۱	۰٫۶۱	۰٫۶۷	۰٫۷۸	۰٫۷۲
Al_2O_3	۱۹٫۶۹	۲۰٫۳۹	۲۰٫۲۲	۱۸٫۹۴	۱۹٫۹۶	۲۰٫۰۴	۱۸٫۷۵	۱۸٫۷۷
FeO_t	۴٫۱۵	۴٫۴۲	۵٫۰۱	۶٫۷۵	۴٫۹۲	۵٫۵۱	۶٫۱۹	۵٫۱۲
MgO	۲	۲٫۲۳	۱٫۹۶	۲٫۰۹	۱٫۷۶	۲٫۴۷	۲٫۹۷	۲٫۹۷
CaO	۳٫۸۸	۴٫۷۵	۴٫۹۲	۷٫۶۴	۶٫۲۳	۳٫۶۴	۴٫۱۳	۴٫۵۵
Na_2O	۸٫۳۴	۶٫۵۳	۶٫۴۷	۴٫۵۹	۳٫۹۳	۶٫۹۱	۵٫۴۸	۶٫۸۹
K_2O	۲٫۸	۳٫۶۸	۲٫۹۳	۱٫۶۴	۴٫۰۳	۳٫۲۴	۴٫۱۶	۳٫۱۵
P_2O_5	۰٫۷۱	۰٫۵۹	۰٫۶۱	۰٫۳۳	۰٫۷۳	۰٫۵۴	۰٫۸۸	۰٫۵۴
L.O.I	۴٫۴۹	۲٫۹۵	۳٫۳۱	۱٫۱۷	۱٫۴۶	۴٫۲۰	۲٫۴۸	۳٫۳۶
Total	۹۹٫۹۶	۹۹٫۷	۹۹٫۶۹	۱۰۰	۹۹٫۹۱	۹۹٫۸۹	۱۰۰٫۰۱	۹۹٫۹۴
Ba	۳۲۰	۲۸۵	۲۳۰	۱۹۸	۲۴۳	۳۰۴	۲۶۷	۲۱۲
Co	۹٫۳	۱۱٫۵	۹٫۴	۱۹٫۷	۱۲٫۲	۹٫۴	۱۴٫۹	۱۴٫۶
Cs	۴٫۹	۵٫۴	۱٫۴	۰٫۶	۰٫۹	۵٫۱	۲٫۲	۳٫۴
Ga	۱۷٫۰	۱۷٫۸	۱۵٫۴	۱۶٫۰	۱۶٫۹	۱۵٫۱	۱۵٫۵	۱۵٫۴
Hf	۲٫۸	۲٫۹	۲٫۵	۱٫۴	۲٫۸	۳٫۱	۲٫۸	۲٫۶
Nb	۶٫۳	۶٫۱	۵٫۴	۲٫۱	۶٫۱	۵٫۸	۸٫۲	۵٫۴
Rb	۹۹٫۳	۱۱۸٫۱	۹۰٫۱	۳۴٫۹	۱۱۴٫۵	۱۰۳٫۵	۱۸۵٫۵	۸۶٫۱
Sr	۵۹۵٫۴	۵۷۸٫۵	۵۰۹٫۵	۵۱۳٫۹	۷۳۸٫۲	۵۲۴٫۷	۵۴۶٫۴	۵۵۰٫۳
Ta	۰٫۴	۰٫۴	۰٫۴	۰٫۲	۰٫۴	۰٫۴	۰٫۶	۰٫۴
Th	۴٫۸	۴٫۷	۴٫۰	۱٫۶	۴٫۶	۵٫۰	۶٫۴	۴٫۰
V	۱۹۸	۱۸۶	۱۴۷	۳۰۳	۱۷۹	۱۷۱	۱۹۳	۲۱۸
Zr	۱۱۱٫۰	۱۱۲٫۹	۹۵٫۷	۵۲٫۷	۱۱۳٫۲	۱۱۳٫۳	۱۲۴٫۰	۹۷٫۰
Y	۱۷٫۹	۱۷٫۴	۱۵٫۶	۱۶٫۹	۱۶٫۲	۱۶٫۵	۱۶٫۳	۱۷٫۲
La	۱۷٫۴	۱۶٫۷	۱۵٫۴	۸٫۸	۱۷٫۲	۱۷٫۵	۲۲٫۰	۱۶٫۷
Ce	۳۵٫۸	۳۴٫۵	۳۰٫۴	۱۷٫۹	۳۵٫۵	۳۵٫۲	۴۴٫۲	۳۴٫۴
Pr	۴٫۲۳	۴٫۳۴	۳٫۷۷	۲٫۳۳	۴٫۲۸	۴٫۳۵	۴٫۹۸	۴٫۰۷
Nd	۱۷٫۹	۱۷٫۷	۱۶٫۷	۱۰٫۹	۱۸٫۷	۱۷٫۴	۱۹٫۵	۱۸٫۳
Sm	۳٫۷۳	۳٫۶۴	۳٫۵۲	۲٫۵۴	۳٫۷۰	۳٫۷۰	۳٫۷۴	۳٫۵۴
Eu	۱٫۰۴	۱٫۰۱	۰٫۹۳	۰٫۸۲	۰٫۹۸	۰٫۹۳	۰٫۸۶	۱٫۱۴
Gd	۳٫۴۷	۳٫۴۴	۳٫۰۷	۲٫۶۸	۳٫۵۳	۳٫۳۰	۳٫۱۷	۳٫۶۷
Tb	۰٫۵۴	۰٫۵۰	۰٫۴۷	۰٫۴۳	۰٫۵۳	۰٫۵۲	۰٫۴۶	۰٫۵۱
Dy	۳٫۲۱	۳٫۱۸	۲٫۶۹	۲٫۸۴	۳٫۳۳	۳٫۱۳	۲٫۸۷	۳٫۰۱
Ho	۰٫۶۴	۰٫۶۲	۰٫۵۵	۰٫۶۰	۰٫۶۳	۰٫۶۳	۰٫۵۹	۰٫۶۲
Er	۲٫۰۲	۱٫۷۶	۱٫۵۴	۱٫۹۵	۱٫۸۷	۱٫۸۰	۱٫۶۷	۱٫۸۷
Tm	۰٫۳۱	۰٫۲۸	۰٫۲۶	۰٫۲۸	۰٫۲۹	۰٫۲۷	۰٫۲۵	۰٫۲۹
Yb	۱٫۸۸	۱٫۸۴	۱٫۷۲	۱٫۹۳	۱٫۸۰	۱٫۸۶	۱٫۶۵	۱٫۶۹
Lu	۰٫۳۰	۰٫۲۷	۰٫۲۵	۰٫۲۷	۰٫۲۸	۰٫۲۸	۰٫۲۷	۰٫۲۸
$(La/Yb)_N$	۶٫۲	۶٫۱	۶٫۰	۳٫۱	۶٫۴	۶٫۳	۹٫۰	۶٫۷
Eu/Eu^*	۰٫۹	۰٫۹	۰٫۹	۱٫۰	۰٫۸	۰٫۸	۰٫۹	۱٫۰

نمودار عنکبوتی عناصر فرعی و برخی عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به گوشته‌ی اولیه [۱۵] برای واحدهای آتشفشانی، در شکل (۱۳ ب) نشان داده شده است. غلظت عناصر LILE تابعی از نحوه‌ی رفتار فاز شاره است؛ در صورتی که غلظت عناصر HFSE به وسیله شیمی سنگ خاستگاه و فرایندهای بلور/ گدازه که حین تشکیل سنگ صورت می‌گیرد، کنترل می‌شود [۹]. غنی شدگی از عناصر LILE (Sr, K, Rb, Cs) و عناصر ناسازگاری که رفتار شبیه آن‌ها دارند مثل Th نسبت به عناصر HFSE (Nb, Ce, Zr, Ti, Y) در همه‌ی نمونه‌ها نسبت به گوشته‌ی اولیه دیده می‌شود با این تفاوت که مقادیر همه‌ی عناصر در بازالت کمتر است، غنی شدگی در عناصر LILE نسبت به HFSE نشان‌دهنده‌ی ماگمای وابسته به مناطق فرورانش است [۱۱-۱۳].

سنگ‌های آتشفشانی چشمه گز در نمودارهای تمایز زمین ساختی در گستره‌ی کمان آتشفشانی وابسته به فرورانش قرار می‌گیرند. این سنگ‌ها در نمودار 100Th/Zr در مقابل 100Nb/Zr[۱۳] در جایگاه فرورانش (شکل۱۴ الف) و در مثلث Ta-Th-Hf/3 [۱۶] در قلمرو سنگ‌های آتشفشانی آهکی- قلیایی کمان آتشفشانی در منطقه‌ی فرورانش قرار می‌گیرند (شکل ۱۴ ب). همچنین نسبت Nb/La برای میانگین سنگ‌های پوسته‌ی قاره‌ای ۰٫۳۹ [۱۷] و بازالت‌های اقیانوسی ۰٫۹ تا ۱٫۳ [۱۵] است. این نسبت در واحدهای آندزیتی منطقه بین ۰٫۳۲ تا ۰٫۳۷ و برای واحد بازالتی ۰٫۲۳ است که به پوسته‌ی قاره‌ای نزدیکتر است و نشان دهنده‌ی آلودگی گدازه با پوسته‌ی قاره‌ای طی صعود است.

بحث و برداشت

کانسار مس چشمه گز (نسیم) که در افق خاصی از سنگ‌های آتشفشانی و در مرز واحدهای آندزیتی و سنگ آهک نوموليت-دار تشکیل شده است، یک کانی‌سازی مس چینه‌کران محسوب می‌شود (شکل ۲). البته بخشی از کانسار که در مرز واحد آتشفشانی و سنگ کربناته است، کنترل ساختاری نیز دارد. این کانسار، از نظر هندسی، چینه‌کران بودن، نوع سنگ میزبان، شکل و حالت کانی‌سازی و ترکیب کانی‌شناسی، بسیار شبیه به کانسارهای نوع مانتو در شیلی مانند Santo Domigo, Arica-I quique ،Mantos Blancos, El Soldado، Tocopilla-Talta و Las Luses است. در این ذخایر سنگ-های آتشفشانی میزبان کانی‌سازی مس چینه‌کران هستند. معمولا یک دنباله‌ی آتشفشانی- رسوبی در منطقه دیده می‌شود و کانی‌سازی مس در آندزیت یا بازالت تشکیل شده است [۱۸-۲۲]. انواع مشابه این کانی‌سازی در آمریکای شمالی به عنوان نوع Volcanic red-bed معرفی شده‌اند [۲۴،۲۳] و بیشترین توزیع آن‌ها در شمال غرب کانادا و شمال میشیگان است [۲۵]. دگرسانی‌های همراه با کانی‌سازی از نوع کلریتی، کربناتی، سرسیتی، سیلیسی، آلبیتی و زئولیتی معرفی شده است [۲۲، ۲۷،۲۴،۲۶]. دگرسانی پروپلیتیک ناحیه‌ای بیانگر تشکیل واحدهای آتشفشانی در شرایط زیردریایی است [۲۲]. کانی-سازی به شکل پراکنده، رگچه‌های نازک و پرکننده‌ی حفره‌های سنگ میزبان تشکیل می‌شود و بیشتر شامل کالکوزیت، بورنیت، کالکوپیریت و کوولیت است. علاوه براین کانی‌هایی از قبیل پیریت، مس طبیعی، نقره‌ی طبیعی، چهاروجهی، تنانتیت، گالن، اسفالریت، مگنتیت و هماتیت می‌تواند به‌عنوان کانی‌سازی اولیه وجود داشته باشد [۱۸، ۲۲، ۲۸-۳۰]. یکی از سرشتی‌های کانسارهای نوع مانتو همراهی نقره با مس است که میزان آن از ۸ تا ۳۲ گرم در تن تغییر می‌کند [۳۱].



شکل۱۴ نمودارهای تمایز تکتونوماگمایی سنگ‌های آتشفشانی کانسار چشمه گز الف) نمودار 100Th/Zr-100Nb/Zr [۱۳]، ب) نمودار Th-Ta-Hf/3 [۱۶].

براساس جمع‌بندی [۲۳] برای تشکیل ذخایر مانتو دو مدل ژنتیکی ارائه شده است: ۱- خاستگاه دگرگونی: در این مدل، مس در درجات بالای دگرگونی و طی واکنش‌های آب‌زدایی آزاد شده و در سنگ‌های میزبان نهشته شده است. ۲- مدل روزادی-درون‌زادی: در این مدل، کانه‌زایی مس در ارتباط با درونزاد آغازین تا تدفینی است. مس از آندزیت میزبان که در شرایط احیایی ته نشست یافته است، در طی فرآیند شستشو آزاد می‌شود. شاره‌هایی که این مس را از سنگ‌های آندزیتی شستشو می‌دهند، بیشتر شورابه‌های حوضه‌ای هستند ولی دخالت آب دریا، آب‌های جوی و شاره‌های ماگمایی نیز به‌وسیله‌ی ایزوتوپ‌های اکسیژن، هیدروژن و گوگرد تأیید شده است [۲۳].

از این نوع ذخایر تاکنون در بلوک لوت، منطقه سنندج-سیرجان و ایران مرکزی شناخته شده است [۳۱- ۳۵]. سامانی [۳۶] فاز پسین ولکانیسم ائوسن در مناطق قم، ساوه، عباس آباد و شمال درونه را میزبان کانسارهای نوع مانتو می‌داند که از این میان کانسارهای وشنوه و گلستان در استان قم و کانسارهای چغندرسر، دامن جلا، معدن بزرگ و غیره در حوزه‌ی معدنی عباس آباد- ترود به عنوان مهمترین نمونه‌ها معرفی شده است.

خصوصیات کانسار مس چشمه گز (نسیم) با ویژگی‌های کلی کانسارهای نوع مانتو و طبقات سرخ آتشفشانی در دنیا و برخی کانسارهای نوع مانتو در ایران در جدول ۲ مقایسه شده‌اند. جنس سنگ میزبان، دگرسانی، بافت و ساخت کانی‌سازی

جدول ۲ مقایسه‌ی ویژگی‌های کانسار مس چشمه گز (نسیم) با ذخایر مانتو، طبقات سرخ آتشفشانی و برخی ذخایر مشابه در ایران.

ویژگی‌های شاخص	چشمه‌گز (نسیم)	مانتو	bed Volcanic- red	کشکوئیه	کشت مهکی	عباس‌آباد	ورزگ- قائن
موقعیت جغرافیایی	شمال غرب بردسکن	شیلی	شمال غرب کانادا و شمال میشیگان	رفسنجان	بخش جنوبی زون سنندج-سیرجان	منتهی الیه شرق استان سمنان	جنوب شرقی قائن
محیط زمین-ساختی	کمان آتشفشانی در منطقه‌ی فرورانش	حوضه‌ی پشت کمانی	کافت درون قاره‌ای و نزدیک حاشیه صفحات	-	منطقه‌ی فرورانش	-	کافت درون قاره‌ای
سنگ میزبان	آندزیت و سنگ آهک	آندزیت تا بازالت	جریان‌های آتشفشانی مافیک تا فلسیک، توف، برش و سنگ‌های رسوبی	آندزیت پورفیری، توف برشی	توف‌های سنگی	آلکالی الیوین بازالت، تراکی آندزیت بازالت	آندزیت، آندزیت-بازالت
دگرسانی	پروپیلیتیک، کربناتی، کلریتی، زئولیتی، سیلیسی	کربناتی، کلریتی، سرسیتی، آلبیتی، سیلیسی	کربناتی، کلریتی، سرسیتی، آلبیتی، سیلیسی، زئولیتی	کربناتی، کلریتی، سرسیتی، سیلیسی، هماتیتی	پروپلیتیک، سیلیسی، کربناتی، کلریتی، آلبیتی، هماتیتی، زئولیتی	سرسیتی، سیلیسی، کربناتی، زئولیتی، کلریتی	کربناتی، سیلیسی، کلریتی، زئولیتی
کانی‌شناسی ماده-ی معدنی	کالکوزیت، مس طبیعی، پیریت، مالاکیت، کوولیت، آزوریت، گوتیت	کالکوزیت، بورنیت، کالکوپیریت، کوولیت، مس و نقره طبیعی و...	کالکوزیت، بورنیت، کالکوپیریت، کوولیت، مس و نقره طبیعی و...	کالکوزیت، بورنیت، کالکوپیریت، کوولیت، پیریت، مگنتیت، هماتیت	کالکوزیت، بورنیت، مس طبیعی، کالکوپیریت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت	کالکوزیت، دیژنیت، کالکوپیریت، بورنیت، کوولیت، کوپریت، تنوریت، مگنتیت، هماتیت	کالکوزیت، بورنیت، کوولیت، دیژنیت، کوپریت، تنوریت، مس طبیعی
شکل و حالت کانی‌سازی	رگچه‌ای، پراکنده، پرکننده‌ی حفره‌ها	پراکنده، پرکننده حفره‌ها، رگچه‌ای	پراکنده، پرکننده حفره‌ها ، رگچه‌ای	پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه، رگچه‌ای و جانشینی	پرکننده فضای خالی، رگه، رگچه‌ای و جانشینی و لامینه‌ای	-	رگه‌ای، رگچه‌ای، افشان و پرکننده حفره‌ها
ژئوشیمی	مس	مس و نقره	مس و نقره	مس و نقره	مس و نقره	مس و نقره	مس و نقره
منابع	این پژوهش	[۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۶]	[۲۴ و ۳۲]	[۳۳]	[۳۲]	[۳۵]	[۳۴]

و نوع کانه‌ها در کانسار چشمه گز، شبیه به ذخایر مانتو و طبقات سرخ آتشفشانی و کانسارهای مشابه در ایران است. با این تفاوت که در این گستره کانی‌سازی نقره و نابهنجاری نقره وجود ندارد. به خاطر چگونگی تشکیل نیز، از آنجایی که رخداد دگرگونی ناحیه‌ای یا محلی در منطقه دیده نمی‌شود، مدل روزادی- درونزادی برای آن مناسب‌تر است. در این فرایند، طی درونزادی اولیه، فعالیت ریزسازواره‌های احیاکننده سولفات آب دریا باعث احیای سولفات آب دریا و موجب آزاد شدن گوگرد می‌شود. گوگرد حاصله در اثر واکنش با آهن، سبب ایجاد پیریت به صورت پرکننده‌ی فضای خالی و دانه‌ی پراکنده سنگ میزبان آندزیتی و سنگ آهک شده است. فعالیت آتشفشانی وسیع و ادامه رسوب گذاری باعث ضخیم‌تر شدن دنباله‌ی آتشفشانی- رسوبی حوضه‌ی ائوسن شده و این افزایش ضخامت رسوب‌ها باعث افزایش تدفین، افزایش فشار و افزایش دما در شاره‌ی بین حوضه‌ای می‌شود (درونزادی تدفینی). درونزادی تدفینی سبب تحرک شورابه‌ها در میان دنباله‌ی آتشفشانی و شستشوی مس از آن‌ها می‌شود. شاره‌های غنی از مس با سنگ میزبان پیریت‌دار واکنش داده، احیایی شده و موجب تشکیل سولفیدهای مس احیایی مانند کالکوزیت و یا مس طبیعی شده‌اند. در این فرایند آهن به شکل اکسیدهای آهن آزاد می‌شود. از جمله شواهد درونزادی تدفینی تشکیل زئولیت و تبدیل پیریت به کالکوزیت است. جانشینی کالکوزیت به جای پیریت از طریق واکنش شاه‌های غنی از مس با پیریت‌های اولیه سنگ در ذخایر مانتو توسط [۳۸،۳۷] گزارش شده است.

از آنجا که دنباله آتشفشانی- رسوبی ائوسن در جنوب منطقه‌ی سبزوار میزبان، تعداد زیادی از کانی‌سازی‌های مس با سرشتی‌های مشابه است [۳۹-۴۲]، به عنوان یک منطقه مهم پی‌جویی برای کانسارهای مس نوع مانتو در ایران معرفی می‌شود که می‌تواند برای برنامه‌های اکتشافی تفصیلی مورد توجه قرار گیرد.

قدردانی

این مقاله با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره‌ی ۳/۳۱۷۶۸ مورخ ۱۳۹۳/۶/۱ انجام شده است. همچنین از حمایت مالی سازمان توسعه و نوسازی معدن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) و انجام برخی از آنالیزها در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران سپاسگزاریم. نویسندگان از شرکت تجزیه کنندگان کانسارهای بلورین آمتیس شرق برای ارسال نمونه‌ها به شرکت ACME کانادا تشکر می‌کنند. از شرکت کومه معدن پارس بویژه جناب آقای مهندس صفاریان به دلیل همکاری‌های لازم و در اختیار قرار دادن اطلاعات ژئوشیمی و اجازه‌ی مطالعه گمانه‌ها بسیار سپاسگزاریم.

مراجع

[1] Lindenberg H.G., Jacobshagen V., "*Post-Paleozoic geology of the Taknar zone and adjacent area, NE Iran, Khorasan*", Geological Survey of Iran, Report No. 51, (1983) 145-163.

[2] Alavi M. "*Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran*", Geological Society of American Bullitan 103 (1991) 983–992.

[۳] افتخارنژاد ج.، *"نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر"*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۵۴)

[۴] شهرابی م.، *"نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن"*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۵)

[۵] قائمی ف.، موسوی حرمی ر.، *"نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ درونه"*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۵)

[6] Dunham R. J., "*Classification of carbonate rocks according to deposition texture*", In Classification of Carbonate Rocks (Ed. By Ham W. E.,), (1962) p. 108-121. American Association Petrology and Geology 1.

[7] Whitney D. L., Evans B. W., "*Abbreviations for names of rock-forming minerals*", American Mineralogist 95 (2010) 185–187.

[8] Winchester J. A., Floyd P. A., "*Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements*", Chemical geology 20 (1977) 325-343. [9] Rollinson H., "*Using geochemical data, Evaluation, Presentation, Interpretation*", Harlow, UK, Longman (1993) 352 p.

[10] Boynton W. V., "*Cosmochemistry of the rare earth elements, Meteorite studies*", in Rare Earth Element Geochemistry (P. Henderson, ed.), (Developments in Geochemistry 2), Elsevier, Amesterdam (1985) 115-1522.

[11] Gill J. B., "*Orogenic Andesites and Plate Tectonics*", Springer, New York (1981).

[12] Wilson M., "*Igneous Petrogenesis*", Uniwin Hyman, London (1989).

[13] Pearce J. A., "*Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins*", In: Hawkesworth, C.J., Norry, M.J.

[23] Kirkham R. V., "*Volcanic red-bed copper*", Geology of Canadian Mineral Deposit Types, Geological Survey of Canada, Geology of Canada, (8) (1996) 241-252.
[24] Cabral A. R., Beaudoin, G., "*Volcanic red-bed copper mineralization related to submarine basalt alteration, Mont Alexandre, Quebec Appalachians, Canada*", Mineralium Deposita 42(8) (2007) 901-912.
[25] Wilton D. H., Sinclair, A. J., "*Ore petrology and genesis of a strata-bound disseminated copper deposit at Sustut, British Columbia*", Economic Geology 83(1) (1988) 30-45.
[26] Figueroa-Cisterna J. U. A. N., Morales-Ruano S., Carrillo-Rosúa J., Moreno-Rodríguez V., Ruiz-Cárdenas M., "*Boris Angelo Cu-(Ag) Deposit, Coastal Cordillera, Central Chile*", Preliminary Data (2010).
[27] Betzhold J., Roth, C., "*Characterizing the mineralogical variability of a Chilean copper deposit using plurigaussian simulations*", Journal South African Institute of Mining and Metallurgy 100 (2) (2000) 111-120.
[28] Sato T., "*Manto type copper deposits in Chile: a review*", Bulletin of the geological survey of Japan 35(11) (1984) 565-582.
[29] Wolf F. B., Fontboté L., Amstutz G. C., "*The Susana copper (-silver) deposit in Northern Chile hydrothermal mineralization associated with a Jurassic volcanic arc*", In: Stratabound Ore Deposits in the Andes (pp. 319-338). Springer Berlin Heidelberg (1990).
[30] Ramírez L. E., Palacios C., Townley B., Parada M. A., Sial A. N., Fernandez-Turiel J. L., Lehmann, B., "*The Mantos Blancos copper deposit: an upper Jurassic breccia-style hydrothermal system in the Coastal Range of Northern Chile*", Mineralium Deposita 41(3) (2006) 246-258.
[31] Maksaev V., Zentilli M., "*Chilean strata-bound Cu–(Ag) deposits: an overview*", In: Porter, T.M. (Ed.), Hydrothermal Iron Oxide Copper–Gold and Related Deposits: A Global Perspective " PGC Publishing Adelaide (2002) 163–184.
[32] Boveiri Konari M. B., Rastad E., Kojima S., Omran N. R., "*Volcanic red bed-type copper mineralization in the Lower Cretaceous volcano-sedimentary sequence of the Keshtmahaki deposit, southern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran*", Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen, Journal of Mineralogy and Geochemistry 190(2) (2013) 107-121.
(Eds.), Continental Basalts and Mantle Xenoliths, Shiva, Nantwich (1983) 230-249.
[14] Geng H., Sun M., Yuan C., Xiao W.J., Xian W.S., Zhao G.C., Zhang L.F., Wong K., Wu F.Y., "*Geochemical, Sr–Nd and zircon U–Pb–Hf isotopic studies of Late Carboniferous magmatism in the West Junggar, Xinjiang: implications for ridge subduction*", Chemical Geology 266 (2009) 364–389.
[15] Sun S. S., McDonough W. F., "*Chemical and isotopy systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes*", In: Magmatism in the Ocean: Basins. The Geological Society of London, special publication 42 (1989).
[16] Wood D. A., "*The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province*", Earth Planetary Science Letter 50 (1980) 11– 30.
[17] Rudnick R.L., Gao S., "*Composition of the continental crust*", In: Rudnick, R.L. (Ed.), Treatise in Geochemistry, Volume 3. Elsevier-Pergamon, Oxford (2003) 1-64.
[18] Camus F., "*Geological characteristics of stratabound deposits associated with lacustrine sediments, central Chile*", In: Stratabound Ore Deposits in the Andes (pp. 449-462). Springer Berlin Heidelberg (1990).
[19] Oyarzum R., Ortega L., Sierra J., Lunar R., Oyarzn J., "*Cu, Mn and Ag mineralisation in the Quebrada Marquesa Quadrangle, Chile: The Talcuna and Arqueros Districts*", Mineralium Deposita 33 (1998) 547-559.
[20] Haggan T., Parnell J., Cisternas M. E., "*Fluid history of andesite-hosted CuS-bitumen mineralization, Copiapó district, North Central Chile*", Journal of Geochemical Exploration 78 (2003) 631-635.
[21] Wilson N. S., Zentilli M., Spiro, B., "*A sulfur, carbon, oxygen, and strontium isotope study of the volcanic-hosted El Soldado manto-type copper deposit, Chile: the essential role of bacteria and petroleum*", Economic Geology 98(1) (2003) 163-174.
[22] Kojima S., Trista-Aguilera D., Hayashi K. I., "*Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposits*", Resource geology 59(1) (2007) 87-98.

[۳۳] ابولی‌پور م.، راستاد ا.، رشیدنژاد ن. ا.، *کانه زایی مس چینه‌کران نوع مانتو (Manto- type) در زون دهج ـ ساردوئیه در منطقه کشکوئیه رفسنجان*"، دومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران (۱۳۹۰).

[۳۴] علی‌زاده و.، مومن‌زاده م.، امامی م.، "*سنگ‌نگاری، ژئوشیمی، کانی‌شناسی، مطالعه میانبارهای سیال و تعیین نوع کانه زایی کانسار مس ورزگ ـ قائن*"، مجله علوم زمین، سال ۲۲، شماره ۸۶ (۱۳۹۱) ص ۴۷-۵۸.

[۳۵] علی‌نیا ف.، دهقان‌نژاد م.، "*مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی ژئوشیمیایی معادن مس عباس‌آباد شاهرود و برآورد پتانسیل معدنی آن‌ها*"، کنفرانس مهندسی معدن ایران (۱۳۸۳).

[۳۶] سامانی ب.، "*متالوژنی کانسارهای مس تیپ مانتو در ایران*"، ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران (۱۳۸۱).

[37] Wilson N. S. F., Zentilli M., "*The role of organic matter in the genesis of the El Soldado volcanic-hosted manto-type Cu deposit, Chile*", Economic Geology 94 (1999) 1115– 1136.

[38] Wilson N. S. F., Zentilli M., Spiro B., "*A sulfur, carbon, oxygen, and strontium isotope study of the volcanic-hosted El Soldado mantotype Cu deposit, Chile: the essential role of bacteria and petroleum*", Economic Geology 98 (2003) 163–174.

[۳۹] کریم‌پور م. ح.، ملکزاده شفارودی الف.، "*زمین‌شناسی، کانی‌سازی و آلتراسیون در محدوده اکتشافی مس KC5، استان خراسان رضوی*"، دوازدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران (۱۳۸۳).

[۴۰] حیدریان شهری م. ر.، کریم‌پور م. ح.، ملکزاده شفارودی الف.، "*مغناطیس‌سنجیهای زمینی بر روی بی‌هنجاریهای مغناطیسی هوایی در منطقه معدن مس دهنه سیاه و منطقه اکتشافی KC5 (بردسکن)*"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال ۱۳، شماره ۲ (۱۳۸۴) ص ۳۰۳-۳۲۱.

[۴۱] جباری الف.، ملکزاده شفارودی الف.، "*زمین‌شناسی، آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی کانسار کال ابری، شمال غرب بردسکن*"، دومین کنگره بین‌المللی زمین‌شناسی کاربردی (۱۳۹۴).

[۴۲] سلطانی الف.، فردوست ف.، "*پتروگرافی و ژئوشیمی سنگهای دربرگیرنده کانسار مس رهبری، شمال غرب بردسکن*"، هفتمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران (۱۳۹۴).